مجله پژوهش علف‌های هرز
جلد ۱۶، شماره ۱، ۱۴۰۳
صفحات ۱۰-۱

ISSN NO: 2008-6563

بهینه‌سازی اثرات آنتاگونیستی سختی آب حامل توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ توسط سولفات آمونیوم برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ مزارع گندم

Optimizing the antagonistic effects of water hardness on the efficacy of 2,4-D plus MCPA by adding ammonium sulfate to control broadleaf weeds in wheat fields

مهناز میرزایی [۱*]، اسکندر زند[۲]، علیرضا حسن‌فرد[۳]، محمدحسین زمانی[۴] و سعید جباری نیک[۵]

چکیده

اثرات آنتاگونیستی سختی آب حامل، به کاهش کارایی علف‌کش‌ها و ضرورت ارائه راهکار مناسب برای بهینه‌سازی آن‌ها در کنترل علف‌های هرز مزارع منجر شده است. بر همین اساس، آزمایش مزرعه‌ای به‌منظور بررسی کارایی علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده) در حضور کربنات کلسیم به‌عنوان عامل سختی آب (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) و سولفات آمونیوم (صفر و دو درصد) انجام شد. بیشترین تراکم علف‌های هرز پهن‌برگ با ۱۸ بوته در مترمربع در کاربرد ۷۵ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش با حداکثر سختی آب (۱۰۰۰پی‌پی‌ام کربنات کلسیم) و بدون استفاده از سولفات آمونیوم مشاهده شد. در این تیمار غربیلک (*Lamium amplexicaule* L.) با فراوانی نسبی ۷۰ درصد بیشترین سهم از تراکم علف‌های هرز را به خود اختصاص داد. کاربرد دو درصد سولفات آمونیوم در تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش و کربنات کلسیم (۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) به افزایش به ترتیب ۲۸ و ۷۵ درصدی کنترل علف‌های هرز در مقایسه با عدم کاربرد آن منجر شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه گندم غیر معنی‌دار بود. عملکرد دانه گندم در کاربرد ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش به ترتیب ۴۶۲ و ۵۱۵ گرم در مترمربع و در غلظت کربنات کلسیم صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۵۲۲، ۴۷۴ و ۴۷۱ گرم در مترمربع بود. به‌طورکلی، برای بهینه‌سازی کارایی علف‌کش‌هایی مانند توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در مناطقی با سختی آب حامل، کاربرد دو درصد سولفات آمونیوم پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی کارایی علف‌کش، سولفات آمونیوم، عملکرد دانه، غربیلک، کربنات کلسیم.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

۱، ۲ و ۵- به‌ترتیب محقق، استاد و کارشناس بخش تحقیقات علف‌های‌هرز، موسسه گیاهپزشکی کشور، تهران، ایران.

۳- دکتری تخصصی علوم علف‌های هرز، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول Email: mahnaz.mirzaei2933@gmail.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کاهش کمیت و کیفیت گندم (*Triticum aestivum* L.)، خسارت علف‌های هرز و عدم مدیریت صحیح در پیشگیری و کنترل آن‌ها است. در ایران خسارت علف‌های هرز در اقلیم‌های سرد مانند استان‌های آذربایجان غربی و کرمانشاه ۲۷ درصد، در اقلیم‌های معتدل مانند استان‌های تهران و خراسان ۱۷ درصد، در اقلیم‌های گرم مانند استان‌های خوزستان و فارس ۲۳ درصد و در اقلیم‌های خزری مانند استان گلستان ۲۸ درصد و میانگین خسارت علف‌های هرز در مزارع گندم کشور ۲۳ درصد گزارش شده است (Minbashi *et al*., 2008).

علف‌کش‌ها یکی از نهاده‌های ضروری در نظام‌های زراعی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه محسوب می‌شوند (Zand *et al*., 2019). در مزارع گندم ایران نیز مهم‌ترین روش مدیریت علف‌های هرز کاربرد علف‌کش‌ها است. هرچند استفاده از روش‌های غیر شیمیایی از نظر تئوری ساده است، ولی در عمل فشار ناشی از ناپایداری درآمد باعث می‌شود تا کشاورزان به زراعت تک‌کشتی روی آورده و به روش‌های ساده کنترل علف‌های هرز و نهاده‌های شیمیایی وابسته شوند (Cobb and Reade, 2010). اخیراً در بیشتر کشورها توجه زیادی به اثرات سوء آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست شده است؛ بنابراین بهینه‌سازی کاربرد علف‌کش‌ها باید به‌صورت یکی از مؤلفه‌های رهیافت تلفیقی علف‌های هرز مدنظر قرار گیرد. مقدار علف‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم ایران نشان‌دهنده آن است که در بین پهن‌برگ‌کش‌ها بیشترین مقدار مصرف مربوط به علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ بوده است.

آب به‌عنوان مهم‌ترین و رایج‌ترین حامل مایع برای کاربرد اغلب علف‌کش‌ها محسوب می‌شود و بیش از ۹۹ درصد محلول سم‌پاشی را تشکیل می‌دهد (Mirzaei *et al*., 2023)؛ بنابراین کیفیت آب نقش مهمی در کارایی استفاده از علف‌کش‌ها دارد. بیشتر علف‌کش‌های رایج، محلول در آب و قابل پاشش هستند، ازاین‌رو کیفیت آب مورد استفاده در سم‌پاشی، یکی از عوامل بسیار مهم است که باید برای افزایش کارایی علف‌کش‌ها و کاهش مشکلات زیست‌محیطی به آن توجه شود. عواملی مانند سختی آب، pH آب، میزان یون بی‌کربنات، مواد آلی، آهن و سایر مواد موجود در آن بر جذب و انتقال برخی علف‌کش‌ها تأثیر می‌گذارند (Green and Hale., 2005; Voojodi *et al*., 2023). برای مثال، اثر بازدارندگی کربنات کلسیم بر کارایی علف‌کش توفوردی آمین در کنترل تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) و سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) و کاهش کارایی علف‌کش با افزایش سختی آب توسط ایزدی دربندی و همکاران (Izadi Darbandi *et al*., 2011) گزارش شده است.

تأثیر کیفیت آب بر کارایی علف‌کش‌ها بستگی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی علف‌کش‌ها دارد. کاتیون‌های چند ظرفیتی که در آب‌های سخت یافت می‌شوند، می‌توانند فعالیت علف‌کش‌های پس‌رویشی دارای خاصیت اسیدی ضعیف مانند گلایفوسیت، بازدارنده‌های استیل کو آنزیم آ کربوکسیلاز (ACCase)، بازدارنده‌های استولاکتات سینتاز (ALS)، بازدارنده‌های HPPD، بازدارنده‌های فتوسنتز در فتوسیستم II و گلایفوسینیت آمونیوم را تحت تأثیر قرار دهند. اثر کاهندگی یون کلسیم بر کارایی علف‌کش‌هایی همچون ستوکسیدیم (Mirzaei Matysiak and Nalewaja, 1999; *et al*., 2016)، گلوفوسینیت (Maschhoff *et al*., 2000)، کلتودیم (Nandula *et al*., 2007)، به اثبات رسیده است.

یکی از راه‌حل‌های توصیه‌شده برای کاهش اثرات آنتاگونیستی آب‌های سخت بر جذب و انتقال علف‌کش‌ها استفاده از مواد افزودنی مثل سولفات آمونیوم است. سولفات آمونیوم به‌عنوان یک ماده افزودنی در برطرف کردن برخی از ناسازگاری‌های علف‌کش‌های اسیدی ضعیف در آب سخت شناخته می‌شود. به‌طوری‌که گزارش شده است سولفات آمونیوم اثر آنتاگونیستی کاتیون‌های آب سخت را کاهش می‌دهد و کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف را بهبود می‌بخشد (Nalewaja and Matysiak, 1993).

بیشتر منابع آبی ایران در گروه آب‌های سخت طبقه‌بندی می‌شوند (Mirzaei *et al*., 2023)؛ بنابراین پژوهش در خصوص بهینه‌سازی کارایی علف‌کش‌های رایج در این شرایط ضروری است. هرچند در گذشته مطالعاتی در خصوص تأثیر ترکیبات افزودنی بر کاهش اثرات آنتاگونیستی آب سخت در شرایط کنترل‌شده و آزمایشگاهی انجام شده است، اما مطالعات مبتنی بر شرایط مزرعه بسیار محدود بوده است. علاوه بر این، معمولاً در این مطالعات عملکرد دانه گیاه زراعی تحت تأثیر

تیمارهای آزمایشی کمتر بررسی شده است؛ بنابراین این آزمایش به‌منظور افزایش کارایی علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در آب سخت برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ مزرعه گندم با استفاده از سولفات آمونیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

عوامل آزمایش

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر سولفات آمونیوم به‌عنوان ماده افزودنی بر کارایی علف‌کش توفوردی + اِم‌سی‌پی‌آ (یو ۴۶ کمبی فلوئید، SL 67.5%) در کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ مزارع گندم در آب سخت در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد.

عوامل آزمایش شامل توفوردی+ ام‌سی‌پی‌آ به‌عنوان علف کش شبه‌اکسین، انتخابی و سیستمیک در دو سطح ۷۵ و ۱۰۰ درصد دُز توصیه‌شده در ایران (به ترتیب ۷۵۹/۳۷۵ و ۱۰۱۲/۵ گرم معادل اسید در هکتار)، سختی آب حامل (کربنات کلسیم) در سه سطح شامل صفر (آب دیونیزه)، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام و کاربرد (دو درصد) و عدم کاربرد (صفر) سولفات آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$) بودند.

آماده‌سازی مزرعه

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور واقع در مشکین‌دشت در فاصله هفت کیلومتری جنوب غربی شهرستان کرج با خاکی شامل ۴۷ درصد سیلت، ۲۳ درصد رس و ۳۰ درصد شن (جدول ۱) و دارای سابقه آلودگی کافی به علف‌های هرز غالب منطقه انجام شد. پس از عملیات کوددهی و دیسک، جوی و پشته‌هایی به فاصله ۶۵ سانتی‌متر ایجاد شدند. عرض هر کرت آزمایشی دو متر و ۴۰ سانتی‌متر و طول آن هشت متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش گندم رقم طلایی با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع و فاصله ردیف حدود ۱۷ سانتی‌متر در آبان ماه سال ۱۳۹۹ کشت شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۰/۶ متر و فاصله بین بلوک‌ها نیز دو متر تعیین شد.

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه خاک محل آزمایش

Table 1. Characteristics of the soil samples of the test site

Texture class	pH	EC (dS m^{-1})	O.M (%)	N (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})
Loam soil	7.91	2.38	0.64	0.07	16.83	112

کاربرد علف‌کش

تیمارهای علف‌کشی مربوط به آزمایش، اواخر مرحله پنجه-زنی گندم (مقیاس زادوکس ۲۸ و ۲۹) با استفاده از سم‌پاش موتوری پشتی MATABI (الگانس ۱۸ پلاس) ساخت شرکت اسپانیایی Goizper مجهز به نازل شره‌ای و با فشار ۲ تا ۲/۵ بار اعمال شدند. حجم خروجی سم‌پاش بر اساس ۳۰۰ تا ۴۰۰ لیتر آب در هکتار کالیبره شد. برای کاهش خسارت و رقابت علف‌های هرز باریک‌برگ در مزرعه گندم از علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل (تاپیک، EC 8%) در اوایل مرحله پنجه‌زنی گندم (مقیاس زادوکس ۲۱ و ۲۲) به مقدار ۰/۸ لیتر در هکتار (۶۴ گرم ماده مؤثره در هکتار) به‌نحوی‌که مزرعه عاری از هرگونه علف هرز باریک‌برگ باشد، استفاده شد.

تراکم و وزن خشک علف‌های هرز

سی روز پس از کاربرد تیمارها، تراکم و وزن خشک اندام-های هوایی علف‌های هرز پهن‌برگ زنده به تفکیک گونه اندازه‌گیری شد. برای این منظور با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، کادری به ابعاد ۰/۵×۰/۵ مترمربع به‌طور تصادفی در هر یک از کرت‌های آزمایش پرتاب و علف‌های هرز درون هر کادر به تفکیک گونه شمارش و سپس به‌طور کامل کف‌بر و جمع‌آوری شدند. سپس نمونه‌های هر کرت به‌طور جداگانه درون پاکت‌های کاغذی قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته‌ها، هر یک از نمونه‌ها به آون ۷۵ درجه سانتی-گراد به مدت حدود ۴۸ ساعت منتقل شدند و پس از آن وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه گندم

آبیاری و سایر مراحل داشت گندم تا انتهای فصل زراعی مطابق عملیات معمول در منطقه انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، محصول گندم در هر کرت با حذف اثرات حاشیه-ای به تفکیک تیمارهای آزمایشی جمع‌آوری و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 و مقایسه میانگین آن‌ها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

علف‌های هرز غالب در مزرعه

در طول فصل زراعی، دیده‌بانی و ثبت گونه‌های علف هرز مزرعه انجام شد. به‌طوری‌که در مزرعه محل آزمایش علف‌های هرز غالب شامل سیزاب (*Veronica persica* poir.)، خاکشیر معمولی (*Descurainia sophia* L.)، غربیلک (*Lamium amplexicaule* L.) و سایر گونه‌های علف هرز با تراکم کمتر شامل پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، کاهو وحشی (*Lactuca serriola* L.)، درشتوک (*Malcolmia africana* L.)، شاه‌تره (*Fumaria officinalis* L.)، پیرگیاه (*Senecio vulgaris* L.)، تربچه وحشی (*Rhaphanus raphanistrum* L.)، ناخنک (*Goldbachia laevigata* MB.)، سوزن‌چوپان (*Scandix pecten-veneris* L.)، هویج وحشی (*Daucus carota* L.)، بارهنگ (*Plantago* spp.)، هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.)، تلخه (*Acroptilon repens* L.)، کنگر وحشی (*Cirsium arvense* L.) و کیسه کشیش (*Capsella bursa-pastoris* L.) بودند.

تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز

برهم‌کنش دز علف‌کش، کربنات کلسیم و سولفات آمونیوم بر تراکم علف‌های هرز معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تراکم علف‌های هرز (۱۸ بوته در مترمربع) در کاربرد ۷۵ درصد از دز توصیه‌شده توفوردی + اِم‌سی‌پی‌آ در سختی آب شامل ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام کربنات کلسیم و بدون استفاده از سولفات آمونیوم مشاهده شد (شکل ۱). در این شرایط، کاربرد دو درصد سولفات آمونیوم به کاهش ۲۸ درصد از تراکم علف‌های هرز انجامید. در این تیمار، غربیلک با فراوانی نسبی ۷۰ درصد بیشترین تراکم را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در کاربرد ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده و حضور ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام کربنات کلسیم در مخزن سم‌پاش، استفاده از سولفات آمونیوم دو درصد به افزایش ۷۵ درصدی کنترل علف‌های هرز نسبت به شرایط بدون استفاده از سولفات آمونیوم انجامید (شکل ۱). به‌طوری‌که این شرایط با کمترین تراکم علف‌های هرز که در ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش و بدون حضور عامل سختی آب و با یا بدون مواد افزودنی مشاهده شد (به ترتیب دو و سه بوته در مترمربع)، تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱).

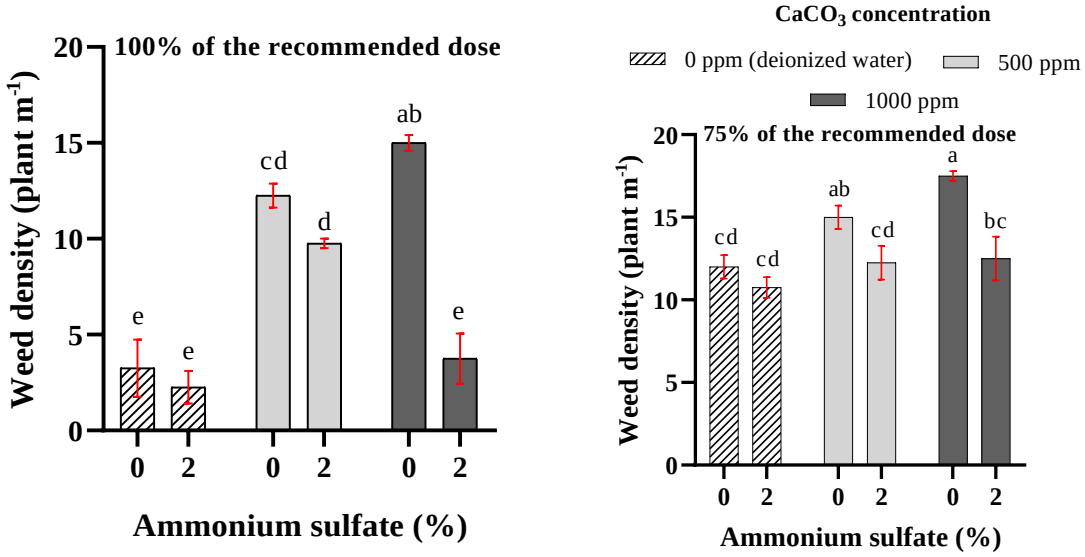
جدول ۲- میانگین مربعات اثرات اصلی و برهمکنش‌های دز علف‌کش، سختی آب و سولفات آمونیوم برای تراکم علف‌های هرز، وزن خشک علف‌های هرز و عملکرد دانه گندم.

Table 2. Mean square for the main effects and interactions of herbicide dose, hard water, and ammonium sulfate (AMS) on weed density, weed dry weight, and wheat seed yield.

Factor	Df	Weed density	Dry weight	Seed yield
Block	3	1.74^{ns}	4.64^{*}	2116.60^{ns}
Herbicide dose (HD)	1	379.69^{**}	55.88^{**}	33974.60^{**}
Hard water ($CaCO_3$)	2	143.58^{**}	57.40^{**}	13383.50^{**}
Adjuvant (AMS)	1	188.02^{**}	61.77^{**}	4451.00^{ns}
HD × $CaCO_3$	2	36.00^{**}	5.72^{*}	783.80^{ns}
HD × AMS	1	11.02^{ns}	0.19^{ns}	1521.00^{ns}
$CaCO_3$ × AMS	2	54.33^{**}	8.14^{**}	1256.70^{ns}
HD × $CaCO_3$× AMS	2	14.08^{*}	5.34^{*}	50.00^{ns}
Error	33			
CV (%)		17.4	21.9	9.9

"*" و "**" به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns غیر معنی‌دار.

"*"and "**" are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, while "ns" indicates non-significance.



شکل ۱- اثر سه‌جانبه دزهای توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۷۵ و ۱۰۰ درصد دوز توصیه‌شده) و غلظت‌های کربنات کلسیم (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) در استفاده و عدم استفاده از سولفات آمونیوم (صفر و ۲ درصد) بر تراکم علف‌های هرز پهن‌برگ مزارع گندم. خطوط عمودی خطای استاندارد (SE) میانگین‌ها را نشان می‌دهند و ستون‌هایی با حرف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با توجه به LSD (کمترین تفاوت معنی‌دار) در $P\leq 0.05$ است. دز توصیه‌شده توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در ایران ۱۰۱۲/۵ گرم معادل اسید در هکتار است.

Figure 1. The effect of doses of 2,4-D plus MCPA (75 and 100 recommended doses) and $CaCO_3$ concentrations (0, 500, 1000 ppm) in the use and non-use of ammonium sulfate (0 and 2%) on the density of broadleaf weeds in wheat fields. Vertical bars indicate the standard error (SE) of means, and bars with the same letter indicate no significant differences according to LSD at $P \leq 0.05$. The recommended dose of 2,4-D plus MCPA in Iran is 1012.5 g ae ha^{-1}.

جدول ۳- فراوانی نسبی علف‌های هرز غالب و سایر گونه‌های علف هرز در مزرعه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

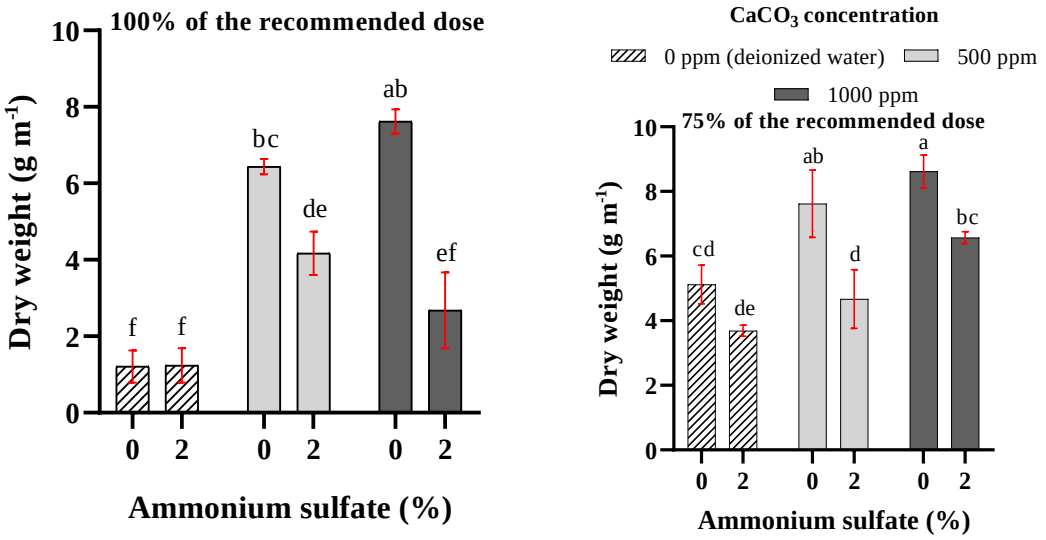
Table 3. Relative frequencies of dominant weeds and other weed species in the field under the influence of different treatments

Treatment			Relative frequency (%)			
Herbicide dose (% of recommended dose)	$CaCO_3$ Concentration (ppm)	Ammonium sulfate (%)	*Veronica persica* Poir.	*Descurainia sophia* L.	*Lamium amplexicaule* L.	Other
75	0	0	14^{h} (0.40)	4^{cd} (0.71)	61^{c} (0.41)	21^{b} (0.41)
	0	2	38^{de} (1.22)	0^{g} (0.00)	48^{d} (0.82)	14^{d} (0.82)
	500	0	11^{i} (0.40)	3^{de} (0.00)	78^{a} (1.41)	8^{fg} (0.82)
	500	2	37^{e} (0.40)	9^{b} (0.82)	37^{f} (0.82)	17^{c} (0.82)
	1000	0	19^{g} (0.82)	2^{ef} (0.71)	70^{b} (0.41)	9^{ef} (0.41)
	1000	2	22^{f} (0.41)	5^{c} (0.41)	62^{c} (0.82)	11^{e} (0.41)
100	0	0	64^{a} (1.63)	0^{g} (0.00)	36^{f} (0.82)	0^{h} (0.00)
	0	2	13^{hi} (1.47)	0^{g} (0.00)	81^{a} (0.41)	6^{g} (0.82)
	500	0	44^{b} (1.63)	0^{g} (0.00)	50^{d} (1.78)	6^{g} (0.00)
	500	2	39^{cd} (0.58)	1^{fg} (0.00)	60^{c} (0.82)	0^{h} (0.00)
	1000	0	13^{hi} (0.41)	22^{a} (0.82)	22^{g} (0.71)	43^{a} (1.22)
	1000	2	41^{c} (0.41)	0^{g} (0.00)	44^{e} (1.63)	15^{cd} (1.22)

مقادیر ارائه‌شده در پرانتز خطاهای استاندارد (±SE) هستند. در هر ستون میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD (کمترین تفاوت معنی‌دار) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند. دز توصیه‌شده توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در ایران ۱۰۱۲/۵ گرم معادل اسید در هکتار است.

Values presented in the parentheses are standard errors (±SE). In each column, means with similar letters do not have a significant difference in the probability level of 0.05 based on the LSD (least significant difference) test. The recommended dose of 2,4-D plus MCPA in Iran is 1012.5 g ae ha^{-1}.

وزن خشک علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد دزهای توفوردی + اِمسی‌پی‌آ، کربنات کلسیم و سولفات آمونیوم قرار گرفت (جدول ۲). به‌این‌ترتیب که بیشترین وزن خشک علف‌های هرز (۸/۶۲ گرم در مترمربع) در کاربرد ۷۵ درصد از دز توصیه‌شده توفوردی + اِمسی‌پی‌آ در سختی آب شامل ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام کربنات کلسیم و بدون استفاده از سولفات آمونیوم مشاهده شد (شکل ۲). در شرایط یادشده کاربرد دو درصد سولفات آمونیوم به‌عنوان ماده افزودنی به کاهش ۲۴ درصدی وزن خشک علف‌های هرز منجر شد. همچنین کاربرد دو درصد سولفات آمونیوم در سم‌پاش شامل ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش و کربنات کلسیم ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به کاهش ۶۵ درصدی وزن خشک علف‌های هرز در مقایسه با عدم کاربرد سولفات آمونیوم منجر شد (شکل ۲). به‌طوری‌که شرایط یادشده با کمترین وزن خشک علف‌های هرز (۱/۲۱ گرم در مترمربع) که در ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش و بدون حضور عامل سختی آب و مواد افزودنی مشاهده شد، تفاوت معنی‌داری نداشت.



شکل ۲- اثر سه‌جانبه دزهای توفوردی + امسی‌پی‌آ (۷۵ و ۱۰۰ درصد دوز توصیه‌شده) و غلظت‌های کربنات کلسیم (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) در استفاده و عدم استفاده از سولفات آمونیوم (صفر و ۲ درصد) بر وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ مزارع گندم. خطوط عمودی خطای استاندارد (SE) میانگین‌ها را نشان می‌دهند و ستون‌هایی با حرف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با توجه به LSD (کمترین تفاوت معنی‌دار) در $P\leq 0.05$ است. دز توصیه‌شده توفوردی + امسی‌پی‌آ در ایران ۱۰۱۲/۵ گرم معادل اسید در هکتار است.

Figure 2. The effect of doses of 2,4-D plus MCPA (75 and 100 recommended doses) and $CaCO_3$ concentrations (0, 500, 1000 ppm) in the use and non-use of ammonium sulfate (0 and 2%) on the dry weight of broadleaf weeds in wheat fields. Vertical bars indicate the standard error (SE) of means, and bars with the same letter indicate no significant differences according to LSD at $P \leq 0.05$. The recommended dose of 2,4-D plus MCPA in Iran is 1012.5 g ae ha^{-1}.

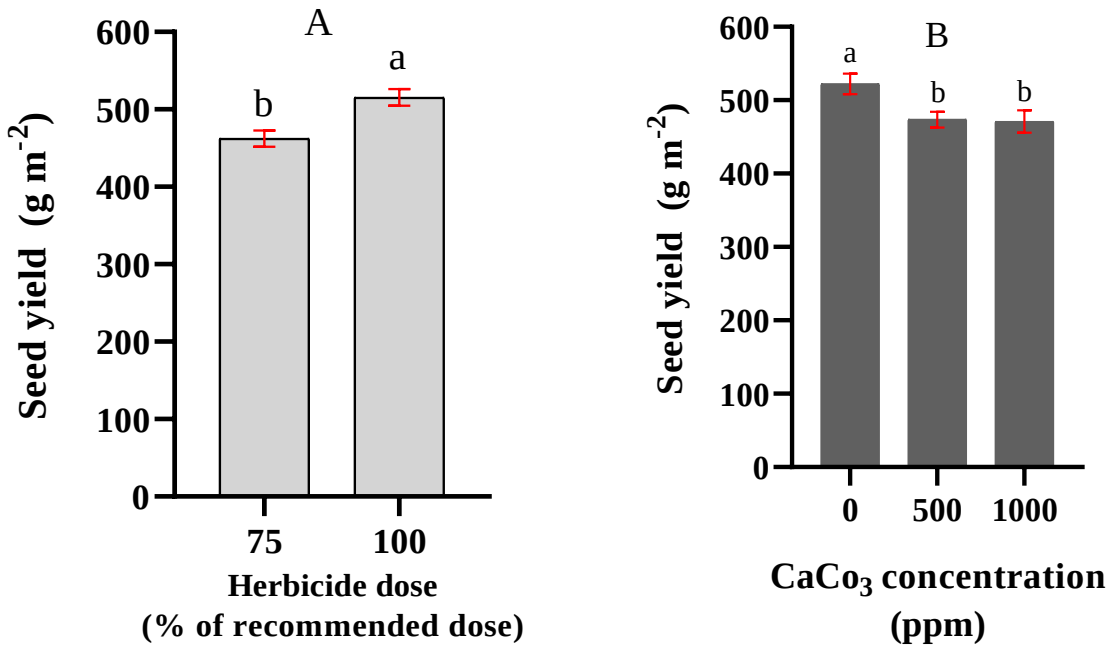
سختی آب ناشی از کربنات کلسیم در هر دو دز علف‌کش به کاهش معنی‌دار کارایی آن منجر شد (شکل‌های ۱ و ۲). دلیل آن را می‌توان به پدیده‌ای نسبت داد که در آن علف‌کش اسیدی ضعیف در pH بالاتر به کاتیون‌های نمک موجود در محلول پاشش متصل می‌شود و در نتیجه یک کمپلکس علف‌کش-نمک آنتاگونیستی تشکیل می‌دهد (Roskamp *et al.*, 2013). بر اساس نتایج این آزمایش، سولفات آمونیوم توانایی بالایی برای بهینه‌سازی کارایی توفوردی + اِمسی‌پی‌آ دارد. سولفات آمونیوم با تسهیل حرکت ترانسکوتیکولار (Transcuticular movement) و افزایش جذب علف‌کش در برگ، کارایی علف‌کش را افزایش می‌دهد. به‌این‌ترتیب که یون سولفات (SO_4^{2-}) در آب با کاتیون‌هایی مثل کلسیم (Ca^{+2}) پیوند برقرار می‌کند و یون آمونیوم (NH_4^+) نیز با مولکول علف‌کش یک کمپلکس تشکیل می‌دهد. گزارش شده است که جذب ستوکسیدیم با کاربرد سولفات آمونیوم در فرایند مشابه یادشده از طریق کوتیکول برگ و غشای سلول افزایش یافته است (Smith and Born, 1992). همچنین میرزایی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2022) در یک آزمایش کنترل‌شده نشان دادند که سولفات

آمونیوم و نیترات آمونیوم با غلبه بر اثرات منفی سختی آب در کارایی علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ به‌منظور کنترل خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) مؤثر بودند. در مطالعه‌ای دیگر که به‌منظور تعیین نقش عوامل سختی آب بر کارایی علف‌کش‌های توفوردی، ستوکسیدیم و گلایفوسیت و تأثیر مواد افزودنی در کاهش اثرات بازدارنده کاتیون‌های موجود در آب سم‌پاشی انجام شد، مشخص شد که اثر سولفات آمونیوم بر کنترل علف‌های هرز تاج‌خروس وحشی، علف جارو [*Bassia scoparia* (L.) AJ Scott]، یولاف وحشی (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana*) و فالاریس (*Phalaris canariensis* L.) مثبت، اما در گونه‌های مختلف متفاوت بود (Mirzaei *et al.*, 2016). به‌نحوی‌که کنترل در تاج‌خروس ریشه قرمز بهتر از فالاریس و یولاف وحشی و در علف جارو بی‌تأثیر بود. همچنین در بین علف‌کش‌های مورد مطالعه، کارایی سولفات آمونیوم در به حداقل‌رسانی واکنش کاتیون‌ها در توفوردی و گلایفوسیت بیشتر از ستوکسیدیم بود.

در این آزمایش مشخص شد که در بین گونه‌های علف هرز پهن‌برگ، غربیلک و خاکشیر معمولی به ترتیب بیشترین و کمترین درصد فراوانی را در بین تمام تیمارها به خود اختصاص دادند (جدول ۳)؛ بنابراین اگر گونه‌های غالب مزرعه غربیلک و گونه‌های مشابه با آن باشند، بهینه‌سازی علف‌کش به‌ویژه در مناطقی با سختی آب ضروری است. همچنین در بین تیمارهای آزمایش، بیشترین درصد فراوانی سیزاب، خاکشیر معمولی و غربیلک در عدم کاربرد سولفات آمونیوم حاصل شد. مشابه نتایج آزمایش حاضر، دوکوتا و جانسون (Devkota and Johnson, 2019) نیز گزارش کردند که گونه‌های علف هرز در پاسخ به عوامل سختی و کاربرد سولفات آمونیوم پاسخ متفاوتی دارند.

عملکرد دانه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه گندم غیر معنی‌دار و اثرات ساده دز علف‌کش و کربنات کلسیم معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌این‌ترتیب که عملکرد دانه گندم در ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده توفوردی + امسی‌پی‌آ به ترتیب ۴۶۲ و ۵۱۵ گرم در مترمربع و در غلظت کربنات کلسیم صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۵۲۲، ۴۷۴ و ۴۷۱ گرم در مترمربع بود (شکل ۳، الف و ب).



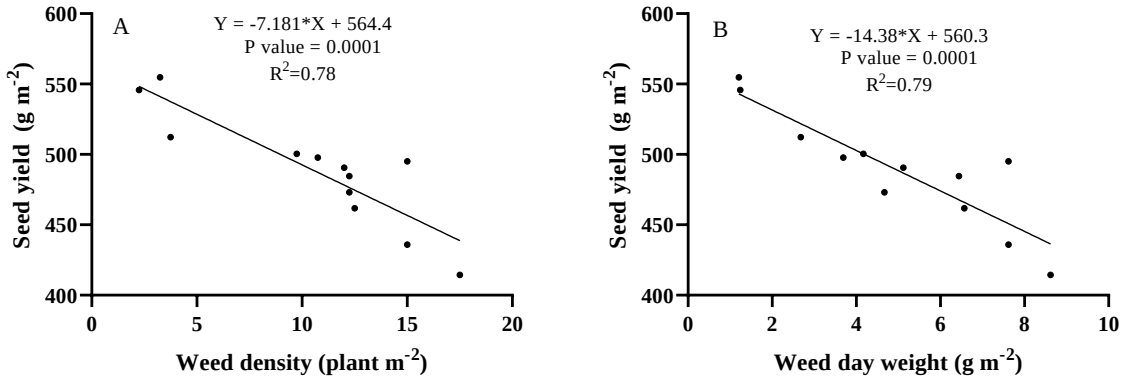
شکل ۳- اثر دزهای توفوردی + امسی‌پی‌آ (الف) و غلظت کربنات کلسیم (ب) بر عملکرد دانه گندم. خطوط عمودی خطای استاندارد (SE) میانگین‌ها را نشان می‌دهند و میله‌هایی با حرف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با توجه به LSD (کمترین تفاوت معنی‌دار) در $P \leq 0.05$ است. دوز توصیه‌شده توفوردی + ام-سی‌پی‌آ در ایران ۱۰۱۲/۵ گرم معادل اسید در هکتار است.

Figure 3. The effect of 2,4-D plus MCPA doses (A) and $CaCO_3$ concentration (B) on wheat seed yield. Vertical bars indicate the standard error (SE) of means, and bars with the same letter indicate no significant differences according to LSD at $P \leq 0.05$. The recommended dose of 2,4-D plus MCPA in Iran is 1012.5 g ae ha^{-1}.

عدم کنترل مناسب علف‌های هرز به‌عنوان عامل رقابت با گیاه زراعی در مزرعه با کاربرد ۷۵ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش و تخصیص بخشی از منابع آبی، نور، فضا و منابع غذایی به آن‌ها منجر به کاهش عملکرد دانه گندم نسبت به کاربرد ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده شد. همچنین افزایش غلظت سختی آب به‌طور طبیعی تأثیر نامطلوبی بر عملکرد دانه گندم گذاشته است که همین مسئله به اثرات آنتاگونیستی سختی آب در کاربرد علف‌کش ارتباط دارد.

ارتباط بین عملکرد دانه گندم با تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز

ضرایب رگرسیون نسبتاً بالایی بین عملکرد دانه گندم با تراکم علف‌های هرز ($R^2 = 0.78$) و زیست‌توده علف‌های هرز ($R^2 = 0.79$) مشاهده شد (شکل ۴، الف و ب). به‌طوری‌که کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز به افزایش عملکرد دانه گندم و برعکس افزایش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز به کاهش عملکرد دانه گندم منجر شد (P values <0.0001).



شکل ۴- رابطه بین عملکرد دانه گندم با تراکم علف‌های هرز (الف) و وزن خشک علف‌های هرز (ب).

Figure 4. The relationship between wheat seed yield and weed infestation, as measured by weed density (A) and weed dry weight (B).

اهمیت گونه‌های علف هرز و تنوع آن‌ها در تعیین تلفات عملکرد گیاهان زراعی به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی تحقیقات در علوم علف‌های هرز تلقی شده است. بر اساس گزارش آدوکس و همکاران (Adeux *et al.*, 2019) جوامع علف‌های هرز متنوع‌تر می‌توانند تلفات عملکرد را کاهش دهند. به‌این‌ترتیب که جوامع علف‌های هرز متنوع، علاوه بر اینکه تأثیر منفی گونه‌های رقابتی و غالب را بر بهره‌وری گیاه زراعی محدود می‌کنند، به‌طور بالقوه خدمات بوم‌سازگان ارائه‌شده توسط گونه‌ها را نیز ارتقا می‌دهند. مشابه نتایج این پژوهشگران، در آزمایش ما نیز تنوع گونه‌های علف هرز پهن‌برگ غالب محدود اما تأثیرگذاری آن‌ها بر عملکرد دانه گندم در عدم کنترل مؤثر به علت سختی آب و کاهش دز توصیه‌شده مشهود بود. از نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ و ارتباط معکوس و معنی‌دار عملکرد دانه گندم و تراکم علف‌های هرز (شکل ۴) می‌توان چنین دریافت که کنترل سه گونه غالب در مزرعه شامل سیزاب، خاکشیر معمولی و غربیلک در ارتباط مستقیم با افزایش عملکرد دانه گندم قرار گرفته است. بر همین اساس تمرکز بر مدیریت و کاهش تراکم و تولید بذر این سه گونه علف هرز طی سال‌های آتی به افزایش عملکرد غلات پاییزه از جمله گندم منجر خواهد شد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش مشخص شد که افزایش سختی آب حامل منجر به کاهش کارایی علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ می‌شود. کاهش دز توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۷۵ درصد دز توصیه‌شده) و افزایش حضور کاتیون‌های عامل سختی آب (کربنات کلسیم) به کاهش کنترل مؤثر علف‌های هرز و در نتیجه به کاهش عملکرد دانه گندم انجامید. از همین رو، برای کاهش اثرات آنتاگونیستی سختی آب حامل علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ، کاربرد مواد افزودنی مانند سولفات آمونیوم دو درصد برای کنترل مناسب علف‌های هرز پهن‌برگ مزارع گندم توصیه می‌شود. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که گونه‌های غالب علف هرز مزرعه در کاهش عملکرد دانه گندم تأثیرگذار هستند و احتمالاً رقابت‌پذیری و تأثیر نامطلوب آن‌ها در یک بوم نظام زراعی بیشتر از جوامع علف هرزی با گونه‌های متنوع است؛ بنابراین با شناسایی و مدیریت کارآمد آن‌ها می‌توان با کاهش رقابت بین‌گونه‌ای از کاهش عملکرد گندم جلوگیری کرد.

References **فهرست منابع**

Adeux, G., Vieren, E., Carlesi, S., Bàrberi, P., Munier-Jolain, N. and Cordeau, S. 2019. Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2(11): 1018-1026. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y

Cobb, A.H. and Reade J. P. H. 2010. *Herbicides and plant physiology*. John Wiley and Sons, Ltd., publication. pp. 286.

Devkota, P. and Johnson, W.G. 2019. Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technology*, 33(4): 562-568. https://doi.org/10.1017/wet.2019.31

Green, J.M. and Hale, T. 2005. Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. *Weed Technology*. 19: 468-475. https://doi.org/10.1614/WT-04-001R5

Hasanfard, A., Rastgoo, M., Izadi-Darbandi, E., Nezami, A. and Chauhan, B.S. 2023. Freezing stress affects herbicide efficacy on sterile oat and turnipweed in wheat. *Gesunde Pflanzen*, 1-8. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00842-3

Izadi Darbandi, E., Nessari, N. and Azarian, F. 2011. Investigation the effect of water hardness on 2,4-d amine efficacy on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexous*) and common lambsquart (*Chenopodium album*) Control. *Journal of Plant Protection Research*. 25: 258-265. (In Persian with English abstract).

Maschhoff, J.R., Hart, S.E. and Baldwin, J.L. 2000. Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. *Weed Science*. 48: 2-6. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0002:EOASOT]2.0.CO;2

Matysiak, R. and Nalewaja, J.D. (1999). Temperature, adjuvants, and UV light affect sethoxydim phytotoxicity. *Weed Technology*. 13: 94-99. https://doi.org/10.1017/S0890037X00044973

Minbashi, M., M. A. Baghestani, A. Ahmadi, Y. Abtali, H. Esfandiari, H. Adim, A. Barjesteh, N. Bagherani, M. YounesAbadi, A. PourAzar, A. Jahedi, N. Jafarzadeh, M. Jamali, S. M. Hoseini, S. Nowrooz Zadeh, M. Delghandi, F. AghaBeigi, S. Sajedi, B. Javadi, and M. Moosavi. 2008. Analytical approach to weed management of irrigated wheat fields of Iran (from 2000 to 2005). 2nd National Weed Science Congress. 2-28. (In Persian with English abstract).

Mirzaei, M., Rastgoo, M., Hajmohammadnia Ghalibaf, K. and Zand, E. 2016. Efficiency study of sethoxidim in controlling little canarygrass (*phalaris minor* Retz.) and winter wild oat (*Avena ludoviciana* Duriea) in presence of different salts and ammonium sulfate. *Weed Research Journal*. 8: 27-40. (In Persian with English abstract).

Mirzaei, M., Zand, E., Rastgoo, M., and Hasanfard, A. 2022. Performance of 2, 4-D plus MCPA and Mesosulfuron plus Iodosulfuron plus Mefenpyr-diethyl as influenced by ammonium sulfate, urea ammonium nitrate, and carrier water hardness. *Phytoparasitica*, 50(3): 589-600. https://doi.org/10.1007/s12600-021-00975-z

Mirzaei, M., Zand, E., Rastgoo, M., Hasanfard, A. and Kudsk, P. 2023. Effects and mitigation of poor water quality on herbicide performance: A review. *Weed Research*, 63(3), 139-152. https://doi.org/10.1111/wre.12573

Nalewaja, J. D. and Matysiak, R. 1993. Spray carrier salts affect herbicide toxicity to kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Technology*, 7(1): 154-158.

Nandula, V.K., Poston, D.H., Reddy, K.N. and Koger, C.H. 2007. Formulation and adjuvant effects on uptake and translocation of clethodim in bermudagrass (*Cynodon dactylon*). *Weed Science*. 55: 6-11. https://doi.org/10.1614/WS-06-024.1

Roskamp, J.M., Chahal, G.S. and Johnson, W.G. 2013. The effect of cations and ammonium sulfate on the efficacy of dicamba and 2,4-D. *Weed Technology*, 27(1): 72-77. https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00106.1

Smith, A.M. and Born, W.H.V. 1992. Ammonium sulfate increases efficacy of sethoxydim through increased absorption and translocation. *Weed Science*, 40(3): 351-358. https://doi.org/10.1017/S0043174500051730

Voojodi, S., Rastgoo, M., Izadi-Darbandi, E., Hajmohammadnia Ghalibaf, K. H. and Hasanfard, A. 2023. Tank-mixing 2, 4-D amine and sulfosulfuron can help alleviate the adverse effects of water hardness on controlling flixweed [*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl]. Crop Protection, 106377. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106377

Zand, E., Nezamabadi, N., Baghestani, M., Shimi, P. and Mosavi, S. 2019. *A guide to chemical control of weeds in Iran*, Mashhad, Jahad Daneshgahi of Mashhad. 2016 pp. (In Persian with English abstract)

Optimizing the antagonistic effects of water hardness on the efficacy of 2,4-D plus MCPA by adding ammonium sulfate to control broadleaf weeds in wheat fields

M. Mirzaei[1*], E. Zand[2], A. Hasanfard[3], M. H. Zamani[4] and S. Jabbari-nick[5]

Abstract

The antagonistic impact of hard water on herbicides has led to a decrease in their efficacy. This has created a need to find an appropriate solution to enhance efficacy in weed control in agricultural fields. The study agents included 2,4-D plus MCPA (U 46 Combi Fluid, 67.5% SL), which is an auxin-like herbicide. It is selective and systemic, and was used at two levels: 75% and 100% of the recommended dose in Iran (759.375 and 1012.5 g ae ha−1, respectively). The hardness of the carrier water (CaCO3) was tested at three levels: zero (deionized water), 500 ppm, and 1000 ppm. Additionally, the study examined the use (2%) and non-use (zero) of ammonium sulfate ((NH4)2SO4). The highest density of broadleaf weeds, with 18 plants per square meter, was observed when applying 75% of the recommended dose of herbicide with maximum water hardness (1000 ppm calcium carbonate) and without using ammonium sulfate. *Lamium amplexicaule* L., with a relative frequency of 70%, accounted for the highest weed density in this treatment. The use of 2% ammonium sulfate in the treatment of 75% and 100% of the recommended dose of herbicide, along with calcium carbonate (1000 ppm), led to an increase of 28% and 75%, respectively, in weed control compared to not using it. Based on the analysis of variance, the interaction of experimental treatments on wheat seed yield was not significant. The yield of wheat grain when applying 75% and 100% of the recommended dose of herbicide was 462 g m-2 and 515 g m-2, respectively. Additionally, at calcium carbonate concentrations of 0 ppm, 500 ppm, and 1000 ppm, the yield was 522 g m-2, 474 g m-2, and 471 g m-2, respectively. Generally, it is suggested to use 2% ammonium sulfate to optimize the efficacy of herbicides, such as 2,4-D plus MCPA, in areas with hard water.

Keywords: Ammonium sulfate, Calcium carbonate, Lamium amplexicaule L., Optimizing herbicide, Seed yield.

Received date: 18 October 2023 Accepted date: 03 February 2024

1- Researcher, Department of Weed Science, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Weed Science, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Tehran, Iran.
3. PhD in Weed Science, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4. Master's degree, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
5. Researcher, Department of Weed Science, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Tehran, Iran.
*-Corresponding author. E-mail: v_yosef@yahoo.com